

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL INFERIDA DE IMAGENS GOES-8 NAS ESTIMATIVAS DE VAZÃO, EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL E UMIDADE DO SOLO DE UM MODELO HIDROLÓGICO

Jaidete Monteiro de Souza
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas 1758, 12227-010, São José dos Campos, SP.
E-mail: jaidete@met.inpe.br

Eduardo Jorge de Brito Bastos
Universidade do Vale do Paraíba, Rua Paraíba nº 75, Centro, 12245-020 – São José dos Campos, SP.
E-mail: ebastos@univap.br

Clovis Monteiro Espírito Santo
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Av. dos Astronautas 1758, 12227-010, São José dos Campos, SP.
E-mail: clovis@met.inpe.br

ABSTRACT

The impact of the estimation of potential evapotranspiration (ETP) on river discharge, actual evapotranspiration and soil humidity which were determined by using a general hidrological (GMH). The daily and climatological data were used to initialize the hidrological model. The global solar radiation data for the month of September, 1997 was obtained from the global solar radiation model, GL 1.0, using the data from the VIS channel of GOES-8. Also the hidrological data of precipitantion and river discharge of the sub-basins 37 and 38 of the hydrological basin 3 in the Northeast Brazil were used. The methodology involved the following steps: and 1) simulation of the general hydrological model for the sub-basin 37 and 38, considering the diferrent methods of ETP estimation.; and 2) estimation of the actual evapotranspiration, soil humidity and the discharge using the GMH, MCA and the global solar radiation estimated by satellite data. The estimates of actual evapotranspiration, soil humidity and river discharge presents satisfactory results with a maximum erros of 20% when compared with the estmates obtained from the satellite data.

INTRODUÇÃO

A modelagem e o monitoramento de fluxos na superfície, tão importantes para os modelos hidrológicos em diferentes escalas de tempo e espaço, ainda não são possíveis. Isto devido a complexidade do sistema físico envolvido e aos métodos convencionais (tradicionais) de avaliação sobre grandes áreas que requerem um extensivo sistema de medidas meteorológicas.

Desta forma, os métodos tradicionais levam a resultados que são bastantes pontuais e/ou representativos de pequenas áreas. Além disso, devido aos altos custos dos experimentos de campo e a existência de regiões de difícil acesso, tornam-se bastante escassas as informações de fluxos na superfície e, por esta razão, torna indispensável a utilização de técnica alternativas para complementar informações meteorológicas sobre uma determinada localidade. Neste sentido, as técnicas de sensoriamento remoto tem sido bastante utilizadas para obter informações de parâmetros de superfície e da atmosfera, cujo nível de detalhamento é determinado pelas resoluções temporal e espacial dos sensores multiespectrais utilizados. Dentre as técnicas de sensoriamento remoto, pode-se destacar a utilização de sensores espaciais a bordo de satélites ambientais para se obter informações sobre grandes áreas.

Dentre os fluxos de superfície possíveis de serem estimados a partir do uso de imagens de satélites, destaca-se a radiação solar global à superfície, que está diretamente associada a evapotranspiração. Devido a sua importância, algumas pesquisas tem sido realizadas utilizando medidas de sensores a bordo de satélites ambientais, para obter informações deste parâmetro para estudos climatológicos e agrometeorológicos.. Por sua vez, ainda são escassas as pesquisas e experimentos para a obtenção de informações hidrológicas precisas sobre áreas extensas, por meios de observações hidrometeorológicas, pois estas informações requerem investimentos de altos custos em equipamentos e manutenção dos postos de coleta de dados.

Vários autores tem realizados estudos utilizando dados de imagens obtidas a partir de sensores a bordo dos satélites ambientais, que são usadas para determinar saldo de radiação na superfície a partir dos componentes do balanço de radiação, temperatura de superfície, evapotranspiração potencial, os componentes do balanço de energia, entre outros. Estas informações permitem realizar estudos em áreas de grandes extensões, sendo uma

solução viável para complementar as observações de superfície, pois não requerem muitos experimentos de campo ou de uma rede densa de estações meteorológica.

A partir do conceito da evapotranspiração potencial e dos diversos métodos de estimativa, diferentes abordagens tem sido consideradas para determinar a evapotranspiração potencial usando informações remotas. Os métodos apresentam uma precisão confiável, com erro que variam de 10 a 15%. Todavia, estas abordagem são unicamente aplicada para escala local. Um dos problemas para aplicação dos métodos é a necessidade de definir exatamente a superfície sobre a qual os dados foram obtidos. Devido a este problema, faz-se uma correlação entre os pontos medidos e dados terrestres para minimizar os erros absolutos de estimativas e daí definir coeficientes de correção entre os padrões de evapotranspiração potencial estimados e a verdade terrestre.

Neste contexto alguns pesquisadores utilizaram dados de sensores a bordo de satélites meteorológicos para estimar o valor da evapotranspiração potencial para regiões agrícolas, destacando-se: Taconet et al., (1984); Caselles e Delegido, (1987); Caselles et al. (1992a,b); and Tarpley, (1994).

Recentemente, no Brasil, tem-se utilizado alguns métodos alternativos de estimativa da evapotranspiração potencial, seja a partir de equipamentos que realiza medidas diretas da evapotranspiração, em pequenas áreas, ou a utilização de Modelos Hidrológicos (MH). Os MH, quando aplicados em áreas extensas, sofrem limitações quanto ao uso do método para estimativa da evapotranspiração potencial devido aos parâmetros exigidos e a disponibilidade dos dados nas equações empíricas. É importante ressaltar que estas técnicas tem sido utilizadas para aplicações em agro e micrometeorologia.

Em relação ao uso de MH para estimativa da evapotranspiração, no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) alguns trabalhos estão sendo desenvolvidos, mas não incorporando informações remotas, apenas utilizando dados obtidos de observações de superfície. Ferreira et al. (1998a,b) utilizou o modelo hidrológico desenvolvido por Vorosmarty et al. (1989, 1991) para realizar um estudo sobre a bacia Amazônica, utilizando como dados de entrada três bases de dados climatológicos (UNESCO, Centro Europeu e Observações de Campo). O objetivo foi comparar os diferentes bancos de dados de entrada e observar o que melhor representa a climatologia da bacia. Os dados utilizados para comparação foram do DNAEE (Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica), considerado “verdade terrestre”. Os resultados obtidos mostraram que a saída do modelo (descarga dos rios) utilizando a série de dados do Centro Europeu representa melhor a climatologia da bacia.

De modo geral, é possível constatar que ainda não foram desenvolvidos trabalhos utilizando informações remotas como dados de entrada em modelos hidrológicos. Todavia algum esforço tem evoluído para que, num futuro bem breve, os dados remotos complementem satisfatoriamente as observações convencionais, melhorando a qualidade dos dados de entrada utilizados em modelos de tempo, clima e hidrologia. Além disso, são inexistentes os estudos com o objetivo de inferir informações remotas, a partir de dados obtidos de sensores orbitais para aplicações hidrológicas. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar o impacto da estimativa radiação solar global à superfície e da evapotranspiração potencial mediante dados do satélite GOES-8 sobre o resultado de vazão, evapotranspiração e umidade do solo obtidos estimados por meio de um modelo hidrológico.

DADOS E METODOLOGIA

Foram utilizados dados climatológicos mensais de temperatura, radiação solar e precipitação; dados climatológicos diários de radiação e temperatura; e, dados de temperatura, umidade relativa, velocidade e direção do vento, evaporação e insolação, referente a setembro de 1997. Os dados climatológicos (mensais e diários) foram fornecidos pelo Laboratório de Informações Meteorológicas (LAPIM) do Departamento de Ciências Atmosféricas (DCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPb) e os dados diários do mês de setembro de 1997 foram fornecidos pelo 3º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Os dados climatológicos mensais de temperatura são dos períodos de 1912 a 1980, os dados de radiação solar corresponde ao período de 1968 a 1978 e os dados de precipitação são de 1912 a 1990. Com respeito aos dados climatológicos diários, os de temperatura refere-se ao período de 1961 a 1970 e os de radiação solar, obtidos da rede solarimétrica do Nordeste, correspondem ao período de 1970 a 1978.

Além disso, foram utilizados dados hidrológicos de precipitação e vazão dos rios, referentes as sub-bacias 37 e 38 da bacia hidrográfica 3, região Norte-Nordeste do Brasil, cedidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A Figura 1 apresenta dados de vazão médios anuais, fornecidos pela ANEEL, referente as sub-bacias 37 e 38. Os dados corrigidos é a “verdade terrestre”, que foram utilizados para fazer comparações entre os resultados obtidos a partir do modelo hidrológico.

As imagens de satélite utilizadas foram fornecidas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), obtidas a partir do satélite meteorológico

geoestacionário GOES-8, canal visível, para o período de setembro de 1997. As imagens cobrem a região Nordeste do Brasil, ou seja, é um recorte que está compreendido entre a latitude de 1°S e 18°S e longitude de 31°W e 47°W. As imagens apresentam um tamanho de 434 x 525 "pixels".

Dentre as sub-bacias hidrográficas da bacia 3, selecionou-se 2 sub-bacias, ou sejam, as sub-bacias hidrográficas de número 37 e 38, localizadas entre os Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, na região Nordeste do Brasil. A sub-bacia hidrográfica 37 apresenta uma área de drenagem compreendida entre a foz do rio Jaguaribe, exclusive e a foz do rio Açu, inclusive. A sub-bacia hidrográfica 38 possui uma área de drenagem compreendida entre a foz do rio Açu, exclusive e a do rio Paraíba, inclusive.

Neste trabalho a metodologia foi dividida em 2 etapas: 1) avaliação do modelo hidrológico sobre as sub-bacias 37 e 38, utilizando dados climatológicos e métodos distintos de determinação de ETP, e avaliação da constante de ajuste de estimativas da ETP e vazão estimada a partir do modelo hidrológico; e, 2) estimativa da evapotranspiração real, umidade do solo e vazão, utilizando o modelo hidrológico, com estimativa de ETP, segundo o método de Caselles et al. (1992b) e dados de radiação solar global estimados via dados de imagens do satélite GOES-8, com o modelo GL1.0.

Na avaliação do modelo hidrológico, foram utilizados dados climatológicos mensais de temperatura, radiação solar global, precipitação e vazão. O modelo foi aplicado para as sub-bacias 37 e 38, considerando os métodos MJH, MCA e MTM para calcular a evapotranspiração potencial. A avaliação foi feita pela comparação entre os dados de vazão simulados pelo modelo hidrológico e dados de vazão, tidos como verdade terrestre, que foram cedidos pela ANEEL. Também nesta etapa foi feita a simulação da ETP e da vazão variando o fator de proporcionalidade (K) no modelo hidrológico, esta variação do fator de proporcionalidade teve como objetivo verificar a variação da ETP e a vazão simulada no modelo, considerando possíveis erros na estimativa apresentada pelo modelo hidrológico.

Finalmente, foram calculados evapotranspiração real (ETR), umidade do solo (US) e vazão (V), utilizando o modelo hidrológico, dados de radiação solar global à superfície estimados via satélite meteorológicos, referente a setembro de 1997 e dados climatológicos de temperatura para setembro. Estas simulações reproduzem estimativas de ETR, US e V diária para as sub-bacias 37 e 38, em pontos de grade com resolução de 0,5° x 0,5°.

A radiação solar global na superfície (satélite) foi determinada aplicando-se o modelo de radiação GL 1.0, que utiliza dados do canal VIS do satélite meteorológico GOES-8. Estes dados foram interpolados para passar da projeção satélite para pontos de grade na mesma resolução do modelo hidrológico.

O modelo hidrológico utilizado foi o desenvolvido por Vorosmarty et al. (1989), que apresenta como saída a evapotranspiração, a umidade do solo e a vazão para as sub-bacias escolhidas da bacia hidrográfica 3. O modelo é inicializado a partir de um arquivo que contém informações de longitude, latitude, solo, vegetação, temperatura, precipitação e radiação solar global mensal climatológica, interpolados em pontos de grade na resolução de 0,5° x 0,5°, para as sub-bacias 37 e 38 da bacia hidrográfica 3.

RESULTADOS

Os resultados mostram que o método proposto por Caselles et al. (1992b) apresentou valores mais próximos dos dados da ANEEL. A estimativa da vazão no modelo hidrológico subestimou a verdade terrestre quando foi utilizado o método proposto por Caselles et al. (1992b) e o método de Jensen e Haise (1963). Entretanto, ao estimar a vazão utilizando o método de Thornthwaite (1948) ocorreu uma superestimativa no valor da vazão. Ao aplicar o método de Thornthwaite (1948), em regiões que apresentam características diferentes da região na qual o método foi desenvolvido, ocorre uma subestimativa da ETP e, em consequência, uma superestimativa da vazão. Esta superestimativa da ETP ao utilizar o método de Thornthwaite (1948), também foi observada por Ferreira et al. 1998.

A Figura 1 mostra os campos da evapotranspiração potencial (a); evapotranspiração real (b); teor de umidade do solo (c); e, vazão (d), para o MCA de estimativa utilizado no modelo hidrológico. Observa-se que no campo da evapotranspiração real os valores estimados são baixos. Diante destas análises, constata-se que o método de estimativa proposto por Caselles et al. (1992b) apresentou resultados satisfatório, de acordo com a estimativa da ETP diária obtida a partir de formulas empíricas.

Baseando-se nos resultados anteriores, o modelo hidrológico foi aplicado para estimar valores diários da evapotranspiração real (ETR), umidade do solo (US) e vazão (V), referentes as sub-bacias 37 e 38, considerando duas opções de dados de entrada: 1) dados climatológicos de radiação solar e temperatura diária, e 2) dados de radiação solar global à superfície estimados via satélites meteorológicos e dados climatológicos de temperatura para o mês setembro de 1997, considerando apenas o método de estimativa proposto por Caselles et al. (1992b).

A análise dos resultados mostra que a saída do modelo utilizando as informações de satélite é representativa e apresentou resultados satisfatórios, com erros percentuais até 20% em relação as estimativas utilizando dados de observação em superfície. A Tabela 1 mostra a saída do modelo hidrológico para o dia 06/09/1997, para cada bloco das sub-bacias 37 e 38, referente aos valores de ETP, estimado a partir do método proposto por Caselles et al. (1992b), com e sem o fator de correção.

TABELA 1 - VALORES DA VAZÃO, ESTIMADOS ATRAVÉS DO MODELO HIDROLÓGICO UTILIZANDO 3 MÉTODOS DE ESTIMATIVA

Sub-bacia	Métodos de Estimativa			
	ANEEL	Caselles et al.	Jensen e Haise	Thornthwaite
37	66.6	47	17	138
38	27.1	30	12	67

As Figuras 2 e 3 mostram os valores estimados no modelo hidrológico, utilizando como dados de entrada informações medidas em superfície e informações obtidas por satélite. Observa-se que o valor estimado utilizando informações de satélites é geralmente superior ao valor estimado quando utilizado dados de entrada de informações obtidas em superfície. A estimativa não apresentou o mesmo comportamento para todos os blocos, ocorrendo variações no valor da ETP estimado entre as informações de satélites e as informações de superfície de até 1mm. Diante disto, um ajuste na estimativa da radiação solar global obtida por satélite pode resultar numa melhor estimativa da ETP.

A Figura 4 mostra o campo da ETP estimada a partir do método proposto por Caselles et al. (1992b), utilizando como dados de entrada informações obtidas em superfície (a e b) e informações obtidas a partir de satélite (c e d), com sem o fator de correção. Observa-se que o campo obtido a partir de informações de satélite apresenta um deslocamento em direção ao norte da região no núcleo mais intenso da ETP. Este comportamento foi verificado em ambas estimativas, com e sem o fator de correção. Conclui-se que este deslocamento seja consequência da parametrização da nebulosidade utilizado no modelo de estimativa da radiação solar global à superfície.

De maneira geral, os valores da ETP estimados no modelo hidrológico utilizando a radiação solar global à superfície obtida a partir de informações de satélite apresentou bons resultados, sendo uma boa opção de estimativa da ETP em áreas extensas.

CONCLUSÕES

Da análise dos resultados, pode-se concluir que:

O método proposto por Caselles et al. (1992b) apresentou resultados bastantes representativos, mostrando ser uma boa opção para estimativa da evapotranspiração potencial para a região estudada, mesmo adotando os coeficientes proposto por estes autores.

A região em estudo apresenta valores de precipitação e teor de água no solo baixos, consequentemente a evapotranspiração real tem valor zero ou muito baixo para toda área que compreende as sub-bacias.

A utilização do modelo hidrológico mostrou ser um bom método de estimativa da evapotranspiração real. Uma vez calibrado o modelo, a partir de informações obtidas pontualmente em medidas de campo, pode-se estender as estimativas para regiões extensas, podendo-se obter resultados confiáveis.

A análise dos resultados mostra que a saída do modelo, utilizando as informações de satélites, apresentou resultados satisfatórios, com erros percentuais de até 20% em relação as estimativas obtidas utilizando dados obtidos de observações em superfície.

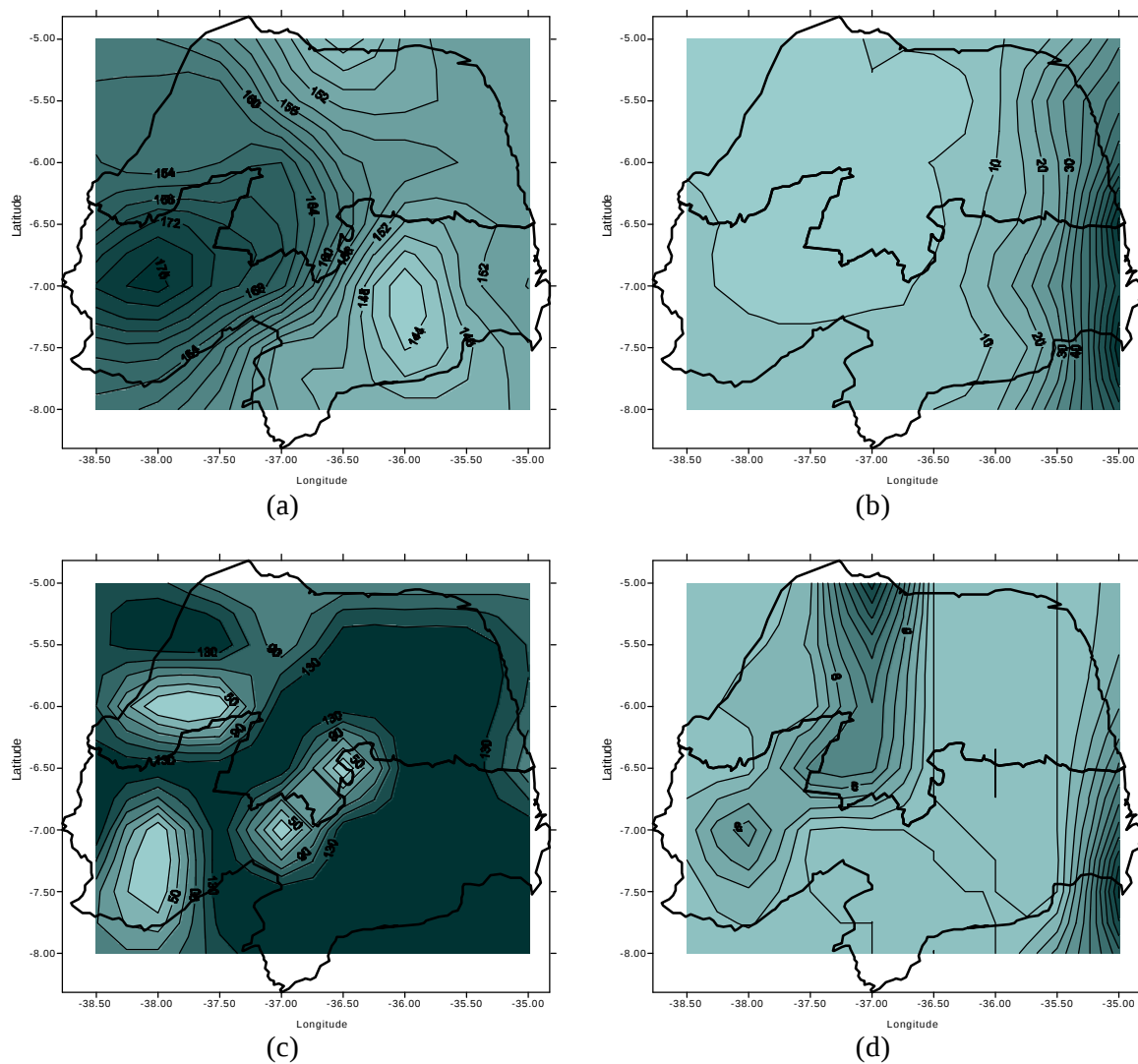
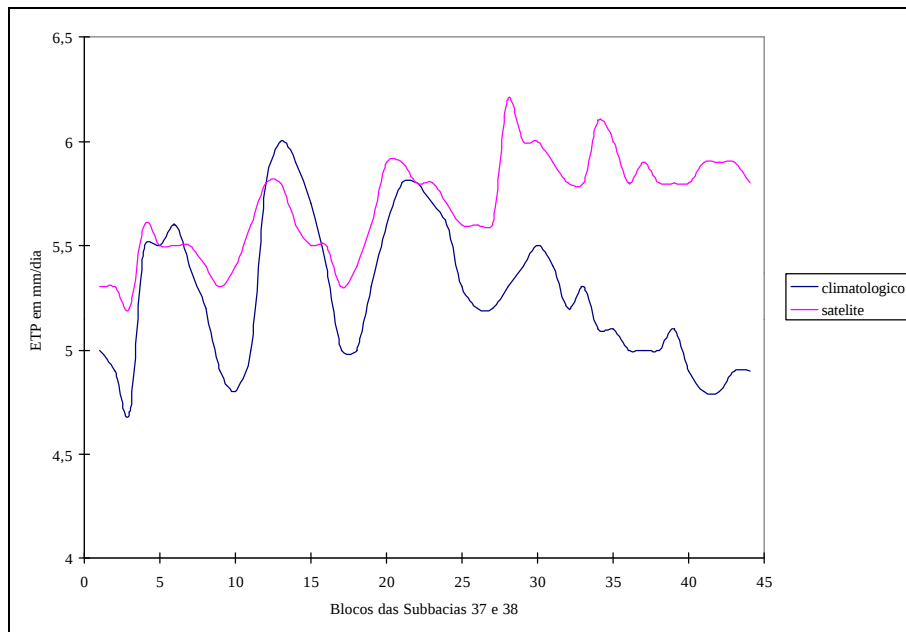
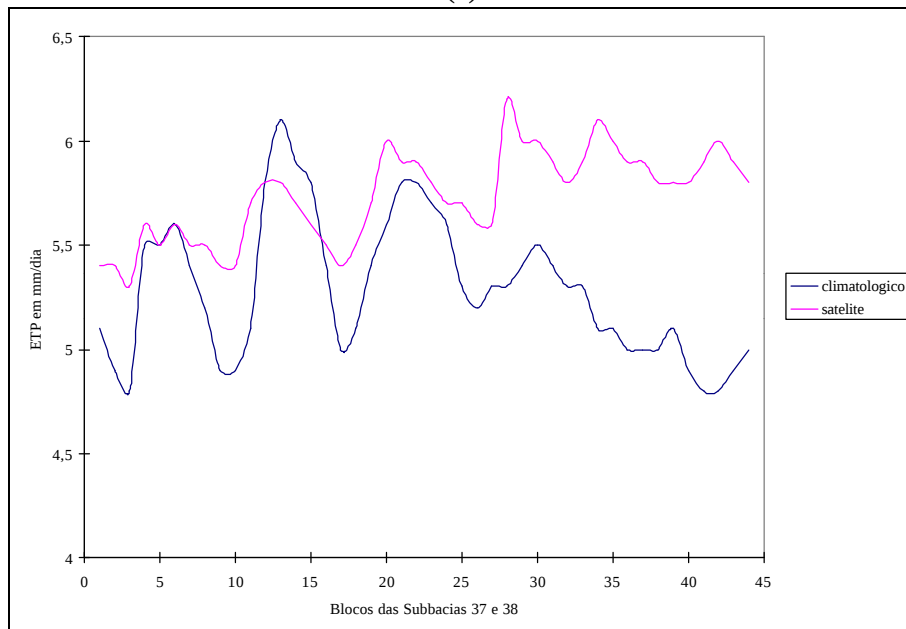


Figura 1 - Estimativa da evapotranspiração potencial (a); evapotranspiração real (b); teor de umidade do solo (c); e vazão (d), utilizando o modelo hidrológico e o MCA.

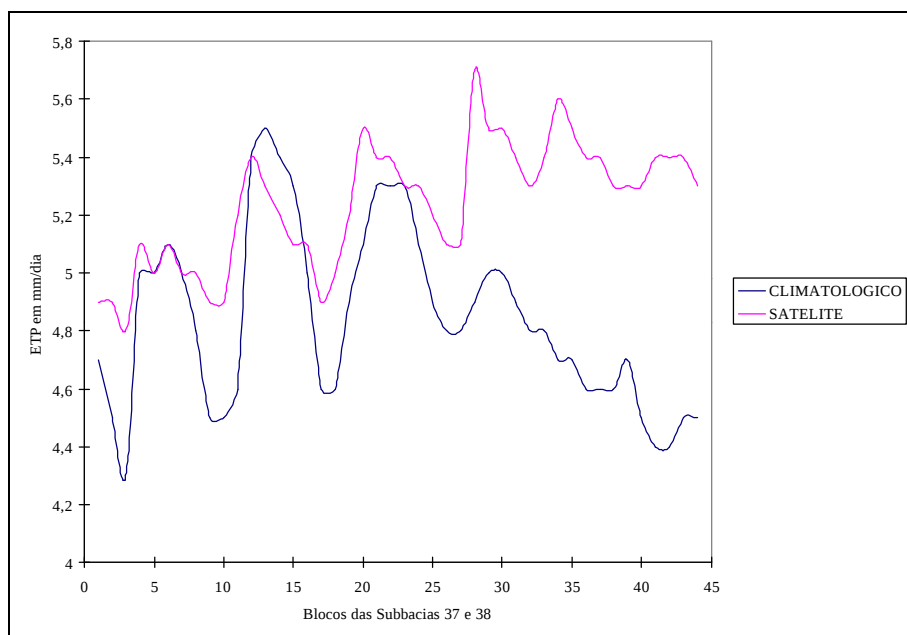


(a)

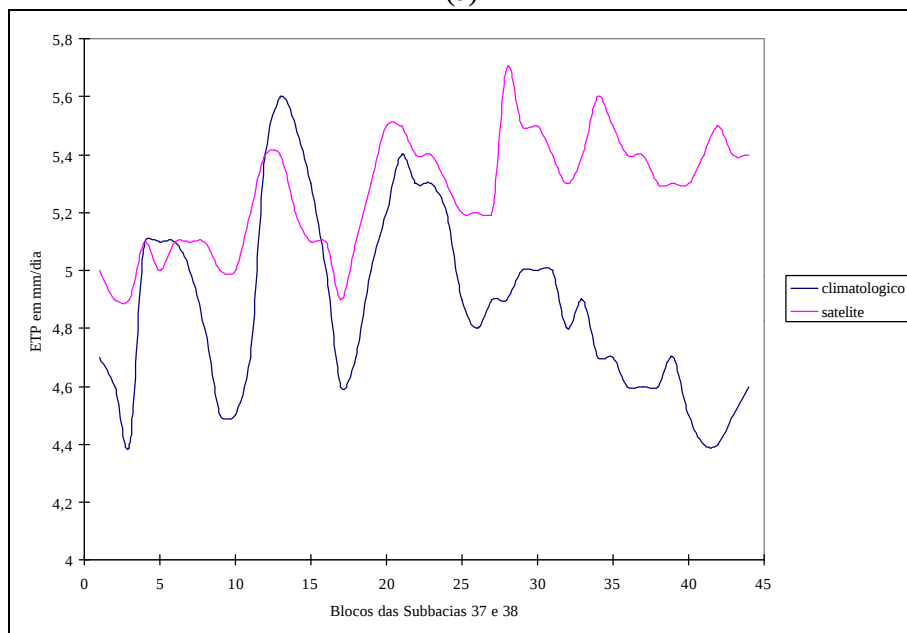


(b)

Figura 2 - Saída do modelo hidrológico sem o fator de correção, utilizando como dados de entrada informações obtidas em superfície e informações obtidas a partir de satélite, usando o MCA, para os dias: (a) 06/09/1997; (b) 11/09/1997.



(a)



(b)

Figura 3 - Saída do modelo hidrológico com o fator de correção, utilizando como dados de entrada informações obtidas em superfície e informações obtidas a partir de satélite, usando o MCA, para os dias: (a) 06/09/1997, (b) 11/09/1997.

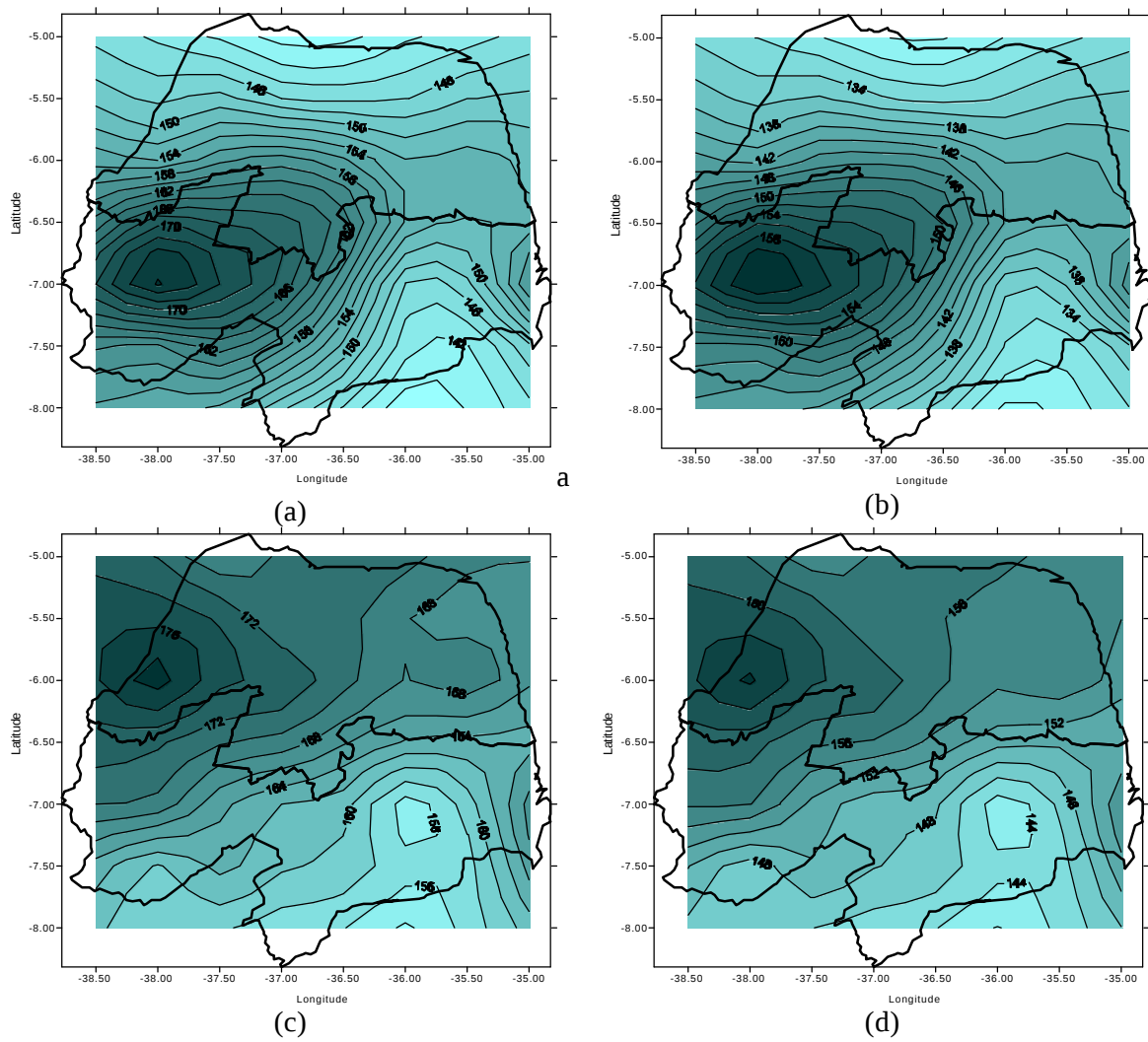


Figura 4 - Campo da ETP obtido a partir do modelo hidrológico, utilizando o MCA, tendo como dados de entrada informações obtidas em superfície (a e b) e informações obtidas a partir de satélite (c e d), sem o fator de correção (b) e com o fator de correção (d).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caselles, V. and Delegido, J.A. Simple model to estimate the daily value of the regional maximum evapotranspiration from satellite temperature and albedo images. *International Journal of Remote Sensing*, 8: 1151-1162, 1987.
- Caselles, V., Delegido, J., Hurtado, E. and Sobrino, J. A. Evaluation of the maximum evapotranspiration over the La Mancha region, Spain, by use of NOAA AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 13: 939-946, 1992.
- Caselles, V., Hurtado, E. and Sobrino, J. A. Maximum evapotranspiration through NOAA satellite images. Application to La Mancha region, Spain. *Atmospheric Research*, 28: 365-374, 1992.
- Ceballos, J. C. and Moura, G. Solar radiation assessment using Meteosat-4 VIS imagery. *Solar Energy*, 60: p.209-219, 1997
- Engman, E. T. and Gurney, R. *Remote sensing in Hydrology*. Chapman and Hall, London, 225pp, 1991.
- Ferreira, J. A. S., Manzi, A. O. and Espírito Santo, C. M. Comportamento de um modelo hidrológico para a bacia Amazônica utilizando três campos diferentes de climatologia. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, X, Brasília, DF. *Anais*, 1998.
- Ferreira, J. A. S., Espírito Santo, C. M. and Manzi, A. O. Calibração de um modelo hidrológico para a bacia do São Francisco. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, X, Brasília, DF. *Anais*, 1998.
- Jensen, M. E. and Haise, H. R., 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *Journal of Irrigation and Drainage of the American Society Civil Engineering*, 89, 15-41.
- Penman, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings Royal Society American*, 193, 120-145, 1948.
- Taconet, O., Bernard, R. and Vidal-Madjar, D. Evapotranspiration over an agricultural region using a surface flux/temperature model based on NOAA-AVHRR data. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25: 284-307, 1986.
- Thornthwaite, C. W. Na approach toward a rational classification of climate. *Geographical Reviews*, 38, 55-94, 1948.
- Tucci, C. E. M. *Hidrologia: Ciência e Aplicações*. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 1993. Segunda edição.
- Vorosmarty, C. J., Moore III, B., Grace, A. L., Gilda, M. P., Melillo, J. M., Peterson, B. J., Rastetter, E. B. and Steudles, P. A Continental-scale models of water balance and fluvial transport: an application to South American. *Global Biogeochemical Cycle*, 3(3), 241-265, 1989.
- Vorosmarty, C. J. and Moore III, B. Modeling basin-scale hydrology in support of physical climate and global biogeochemical studies: an example using the Zambezi River. *Surveys in Geophysics*, 12 (1-3), 271-311, 1991.